

**PENSPEKSIAN LOGAM BERAT DALAM AIR
SISA CAMPURAN INDUSTRI DI SISTEM
PERPARITAN TERTUTUP ,
ZON PERINDUSTRIAN PRAI 1 DAN 2,
PULAU PINANG**

SABRINA KARIM

JUN 2007

**PENSPEKIESAN LOGAM BERAT DALAM AIR SISA CAMPURAN INDUSTRI
DI SISTEM PERPARITAN TERTUTUP, ZON PERINDUSTRIAN PRAI 1 DAN 2,
PULAU PINANG**

oleh

SABRINA KARIM

**Tesis ini diserahkan untuk memenuhi
Keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

Jun 2007

PENGHARGAAN

Di sini saya ingin memanjatkan rasa syukur saya kepada Allah di atas anugerah dan rahmatnya yang memberikan kekuatan, semangat dan tenaga untuk saya meneruskan dan menyempurnakan kajian ini walaupun terpaksa menempuh seribu dugaan.

Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih yang tidak terbalas kepada penyelia utama saya, Prof. Madya Dr. Nik Norulaini bt Nik Abd. Rahman yang banyak memberikan tunjuk ajar, nasihat serta dorongan beliau kepada saya sepanjang kajian ini. Beliau banyak menghulur bantuan, bimbingan serta pengalaman beliau ini sehingga membolehkan saya menyiapkan eksperimen serta tesis dan rencana-rencana berkenaan kajian ini.

Terima kasih tidak terhingga juga saya ucapkan kepada penyelia bersama iaitu Dr. Norli Ismail yang banyak memberi nasihat dan cadangan membina dalam membantu saya dalam menyiapkan penyelidikan ini.

Tidak dilupakan kedua-dua ibubapa saya iaitu En. Karim Hussain dan Pn. Zullainy Mohd Yusoff serta adik beradik saya (Faizul Akmal, Syarihan Noor, dan Mohd Asyraf) yang selama ini banyak bersabar dengan kerenah saya dan memberikan galakkan dan semangat kepada saya sehingga selesai penyelidikan ini.

Seterusnya tidak terkecuali ucapan terima kasih diucapkan kepada semua kakitangan Pusat Pengajian Teknologi Industri , Pusat Pengajian Jarak Jauh terutamanya Puan Arifatul serta Pusat Pengajian Kimia terutamanya En. Wahab yang turut membantu membenarkan saya menggunakan peralatan makmal. Tidak dilupakan kepada semua pembantu-pembantu makmal PPTI dan makmal Millenium iaitu En. Sadali, En. Mohd Fadzli, En. Fadil dan Tuan Haji.

Tidak dilupakan jasa rakan-rakan yang banyak memberikan semangat dan memberikan bantuan dalam apa jua masalah yang dihadapi semasa kajian ini dijalankan. Terima kasih diucapkan kepada Cik Liyana Faryanti, Cik Lin Yu Lang, Cik Zuhida, Cik Fera Fizani, Cik Siti Nurbaya, Cik Fatehah, Cik Kavitha, Puan Asyirah, En. Najib, En. Azizi, Cik Amzura, Cik Zakiah, serta rakan-rakan yang pernah dikenali. Terima kasih juga kepada teman sekerja yang banyak memberikan galakkan dan pertolongan dalam saya menghadapi masalah sehingga kajian ini dibukukan.

Akhir sekali saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada Majlis Perbandaran Seberang Prai yang memberikan saya kebenaran untuk mengambil sampel air di kawasan kajian. Tanpa bantuan mereka kajian ini tidak akan berjalan dengan lancar. Selain itu, terima kasih juga kepada Majlis Amanah Rakyat yang memberikan saya bantuan kewangan bagi meneruskan pengajian saya ini. Terima kasih kepada semua yang terlibat bagi menjayakan kajian ini. Sekian.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	i
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI LAMPIRAN	xiii
SENARAI GAMBARAJAH	xiv
DAFTAR HURUF SINGKAT	xiv
ABSTRAK (Bahasa Melayu)	xvi
ABSTRACT (Bahasa Inggeris)	xviii
1.0 PENDAHULUAN	
1.1 Kawasan perindustrian Pulau Pinang	1
1.2 Sumber pencemaran logam berat di kawasan Zon Perindustrian Prai, Pulau Pinang.	5
1.3 Penspesiesan logam berat	10
1.4 Kepentingan analisis penspesiesan logam berat	12
1.5 Objektif kajian	14
2.0 TINJAUAN LITERATUR	
2.1 Implikasi logam berat kepada manusia	15
2.1.1 Kadmium (Cd)	16
2.1.2 Plumbum (Pb)	17
2.1.3 Zink (Zn)	17
2.1.4 Kuprum (Cu)	18

2.2	Biotersedia	20
2.2.1	Faktor-faktor yang mempengaruhi biotersedia logam di dalam tanah	23
2.2.2	Faktor-faktor yang mempengaruhi pembahagian logam-logam berat di dalam air permukaan dan sedimen	24
2.3	Penentuan penspesiesan logam-logam berat	
2.3.1	Kaedah pengiraan menggunakan simulasi komputer	29
2.3.2	Spektrofotometri Penjerapan Atom Nyalaan.	30
2.3.3	Voltanmetri Perlucutan Anod (ASV)	31
2.3.4	Pengekstrakan Larutan	33
2.3.5	Ultraturasan, Dialisis dan Pengemparan	33
2.3.6	Penukaran Ion	34
2.3.7	Skema penspesiesan gabungan kaedah elektrokimia dan kaedah-kaedah lain	37
2.4	Proses-proses serta interaksi di antara spesies logam berat.	38
2.4.1	Kawalan keterlarutan	39
2.4.2	Pengkompleksan	40
2.4.3	Penjerapan	41
2.4.4	Tindak balas redoks	42
2.4.5	Pemetilan	42
2.5	Penspesiesan logam berat bagi partikulat atau sedimen	43
2.5.1	Pecahan boleh saling ditukar	44
2.5.2	Pecahan terikat kepada karbonat	45

2.5.3	Pecahan terikat kepada oksida Fe-Mn	45
2.5.4	Pecahan terikat kepada bahan organik	46
2.5.5	Pecahan residu	47

3.0 METODOLOGI

3.1	Bahagian fasa akueus.	
3.1.1	Kawasan pensampelan	47
3.1.2	Pra-pengolahan sampel	49
3.1.3	Penentuan total logam berat dalam fasa akueus.	50
3.1.4	Penentuan spesies labil aktif atau spesies labil-ASV	53
3.1.5	Penentuan spesies labil kolum chelex	55
3.1.6	Penentuan spesies labil lemah / labil chelex-batch	58
3.1.7	Penentuan spesies lengai	59
3.2	Bahagian fasa sedimen	
3.2.1	Kawasan pensampelan	60
3.2.2	Pra-pengolahan sampel	60
3.2.3	Penentuan total logam berat fasa sedimen	61
3.2.4	Kaedah pengekstrakan berturutan 5 peringkat.	63
3.3	Langkah-langkah berjaga	68

4.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Purata kepekatan total logam berat terlarut dalam air sisa campuran industri dalam system perparitan tertutup (SPT) di Zon Perindustrian Prai (ZPP) fasa 1 dan 2	70
4.2	Purata kepekatan total logam bahagian sedimen dalam Sistem Perparitan Tertutup (SPT) dan Rumah Pam A di Kawasan Zon Perindustrian Prai (ZPP) Fasa 1 dan 2	77
4.3	Kandungan total logam dan peratus taburan spesies-spesies logam terlarut dalam air sisa campuran industri di Sistem Perparitan Tertutup (SPT) dan Rumah Pam A	78
4.3.1	Kandungan total logam dan peratus taburan spesies-spesies logam terlarut dalam air sisa campuran industri di Sistem Perparitan Tertutup (SPT) lokasi pensampelan S1	78
4.3.2	Kandungan total logam dan peratus taburan spesies-spesies logam terlarut dalam air sisa campuran industri di Sistem Perparitan Tertutup (SPT) lokasi pensampelan S2	83
4.3.3	Kandungan total logam dan peratus taburan spesies-spesies logam terlarut dalam air sisa campuran industri di Sistem Perparitan Tertutup (SPT) lokasi pensampelan S3	88
4.3.4	Kandungan total logam dan peratus taburan spesies-spesies logam terlarut dalam air sisa	92

	campuran industri di Sistem Perparitan Tertutup (SPT) lokasi pensampelan S4	
4.3.5	Kandungan total logam dan peratus taburan spesies-spesies logam terlarut dalam air sisa campuran industri di Sistem Perparitan Tertutup (SPT) lokasi pensampelan S5	96
4.3.6	Kandungan total logam dan peratus taburan spesies-spesies logam terlarut dalam air sisa campuran industri di Sistem Perparitan Tertutup (SPT) lokasi pensampelan S6	101
4.3.7	Kandungan total logam dan taburan spesies logam terlarut dalam air sisa campuran industri di kolam tahanan Rumah Pam A	105
4.4	Kepekatan spesies-spesies logam berat bahagian sedimen di SPT dan rumah pam A, Zon Perindustrian Prai.	110
4.4.1	Kepekatan spesies logam berat dalam lokasi pensampelan Sistem Perparitan S1	111
4.4.2	Kepekatan spesies-spesies logam berat dalam lokasi pensampelan Sistem Perparitan S2	113
4.4.3	Kepekatan spesies-spesies logam berat dalam lokasi pensampelan Sistem Perparitan S3	114

4.4.4	Kepekatan spesies-spesies logam berat dalam lokasi pensampelan Sistem Perparitan S4	116
4.4.5	Kepekatan spesies-spesies logam berat dalam lokasi pensampelan Sistem Perparitan S5	117
4.4.6	Kepekatan spesies-spesies logam berat dalam lokasi pensampelan Sistem Perparitan S6	118
4.4.7	Kepekatan spesies-spesies logam berat dalam lokasi pensampelan rumah pam A.	119
4.5	Penentuan tahap ketoksikan logam di bahagian sedimen di SPT dan rumah pam A di zon Perindustrian Prai.	123
4.6	Langkah penyelesaian masalah pencemaran logam berat di SPT dan rumah pam A di kawasan Zon Perindustrian Prai fasa 1 dan 2.	129
5.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN		
5.1	Kesimpulan	134
5.2	Cadangan	140
SENARAI RUJUKAN		141
LAMPIRAN		159

SENARAI JADUAL

Jadual 1.0	Bilangan premis yang beroperasi di ZPP fasa 1 dan 2 di kawasan PDC sehingga 30 Jun 2002.	3
Jadual 1.1	Kepekatan logam berat ($\mu\text{g/L}$) dalam sampel air laut di kawasan perindustrian Prai dibandingkan dengan kawasan air laut tidak tercemar, Muara Sungai Severn, UK, Laut Mediterranean dan persisiran pantai Hong Kong	4
Jadual 1.2	Kepekatan logam berat (mg/kg berat kering) di dalam sampel sedimen yang diambil daripada kawasan persisiran pantai di dalam kawasan perindustrian Prai dibandingkan dengan kawasan lautan yang lain.	5
Jadual 1.3	Kes-kes ketidakpatuhan terhadap peraturan-peraturan alam sekitar yang dihadapkan ke mahkamah negeri Pulau Pinang.	7
Jadual 1.4	Nilai purata ciri-ciri air sisa industri di dalam kolam tahanan rumah pam A.	8
Jadual 1.5	Kehadiran logam berat di dalam kebanyakan perindustrian	10
Jadual 2.7	Mobiliti relative dan biotersedia penspesiesan logam berat	26
Jadual 2.8	Skema Penspesiesan logam dalam fasa akueus	38
Jadual 4.0	Perbandingan Kepekatan Total Logam di Bahagian Sedimen di Sistem Perparitan Tertutup di Zon Perindustrian Prai dengan Kepekatan Semulajadi Logam di permukaan tanah serta Kajian Lepas yang dilakukan oleh Seng <i>et al</i> (1987) dan Sedimen Management Standard (1991)	76

Jadual 4.1	Klasifikasi Tentatif Peringkat Risiko Logam Berat Bagi Bahagian Sedimen.	110
Jadual 4.2	Kepekatan logam bahagian sedimen mengikut pecahan-pecahan peringkat pengekstrakan sedimen.	122

SENARAI RAJAH

Rajah 2.1	Perkaitan antara manusia, logam-logam berat dan alam sekitar	20
Rajah 2.2	Bentuk kimia logam berat di dalam fasa sedimen.	22
Rajah 3.0	Kawasan Lokasi Pensampelan Sistem Perparitan Tertutup dan Rumah Pam A di Zon Perindustrian Prai, Pulau Pinang	48
Rajah 3.1	Skema Penspesiesan Logam Berat Dalam Fasa Akueus	52
Rajah 3.2	Skema penspesies 5 peringkat pengekstrakan bahagian sedimen yang dicadangkan oleh Tessier <i>et al</i> dan telah diubahsuai mengikut kesesuaian.	62
Rajah 4.0	Purata kepekatan total logam berat terlarut dalam air sisa campuran industri dalam Sistem Perparitan Tertutup dan Rumah Pam A di Zon Perindustrian Prai Fasa 1 dan 2.	74
Rajah 4.1	Peratus Taburan Spesies-spesies Logam Berat di Sistem Perparitan Tertutup S1	82
Rajah 4.2	Peratus Taburan Spesies-spesies Logam Berat di Sistem Perparitan Tertutup S2	87
Rajah 4.3	Peratus Taburan Spesies-spesies Logam Berat di Sistem Perparitan Tertutup S3	91
Rajah 4.4	Peratus Taburan Spesies-spesies Logam Berat di Sistem Perparitan Tertutup S4	95
Rajah 4.5	Peratus Taburan Spesies-spesies Logam Berat di Sistem Perparitan Tertutup S5	100
	Peratus Taburan Spesies-spesies Logam Berat di	104

Rajah 4.6	Sistem Perparitan Tertutup S6	
Rajah 4.7	Peratus Taburan Spesies-Spesies Logam Berat Dalam Air Sisa Campuran Di Lokasi Pensampelan Rumah Pam A di Zon Perindustrian Prai Fasa 1 dan 2	109
Rajah 4.8	Susunatur lokasi pensampelan berdasarkan jumlah kepekatan tiga pecahan pertama logam Zn di bahagian sedimen	124
Rajah 4.9	Susunatur lokasi pensampelan berdasarkan jumlah kepekatan tiga pecahan pertama logam Pb di bahagian sedimen	124
Rajah 4.10	Susunatur lokasi pensampelan berdasarkan jumlah kepekatan tiga pecahan pertama logam Cu di bahagian sedimen	124
Rajah 4.11	Susunatur lokasi pensampelan berdasarkan jumlah kepekatan tiga pecahan pertama logam Cd di bahagian sedimen	125
Rajah 4.12	Jumlah Kepekatan Peringkat Pecahan saling boleh saling ditukar. pecahan terikat kepada karbonat dan pecahan terikat kepada oksida Fe-Mn di bahagian sedimen Sistem Perparitan Tertutup dan Rumah Pam A di Zon Perindustrian Prai Fasa 1 dan 2.	128
Rajah 4.13	Takat Pelepasan and Caj Optimum	131

SENARAI LAMPIRAN

Lampiran 1	Bacaan nilai pH di kawasan Sistem Perparitan Tertutup dan Rumah Pam A di Zon Perindustrian Prai fasa 1 dan 2
Lampiran 2	Kepekatan total logam berat dalam bahagian akueus di Sistem Perparitan Tertutup dan Rumah Pam A.
Lampiran 3	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Pb dalam bahagian akueus di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 4	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Cu dalam bahagian akueus di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 5	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Cd dalam bahagian akueus di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 6	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Zn dalam bahagian akueus di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 7	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Pb dalam bahagian sedimen di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 8	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Cu dalam bahagian sedimen di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 9	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Cd dalam bahagian sedimen di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 10	Kepekatan dan peratus taburan spesies-spesies logam Zn dalam bahagian sedimen di Sistem Perparitan Tertutup, Zon Perindustrian Prai.
Lampiran 11	Data statistik total logam berat di bahagian akueus lokasi pensampelan SPT S1
Lampiran 12	Data statistik total logam berat di bahagian akueus lokasi pensampelan SPT S2

Lampiran 13	Data statistik total logam berat di bahagian akueus lokasi pensampelan SPT S3
Lampiran 14	Data statistik total logam berat di bahagian akueus lokasi pensampelan SPT S4
Lampiran 15	Data statistik total logam berat di bahagian akueus lokasi pensampelan SPT S5
Lampiran 16	Data statistik total logam berat di bahagian akueus lokasi pensampelan SPT S6
Lampiran 17	Data statistik total logam berat di bahagian akueus lokasi pensampelan Rumah Pam A

SENARAI GAMBARAJAH

Gambarajah 3.1	Rekabentuk kolum chelex yang digunakan	57
-----------------------	--	----

DAFTAR HURUF SINGKAT

AAS	Spektrofotometri Penjerapan Atom Nyalaan
Ag	Logam Argentum
ASV	Voltammetri Perlucutan Anod
BOD ₅	Keperluan Oksigen Biokimia (dieram pada suhu 27 ⁰ C selama 5 hari)
Cd	Logam Kadmium
Co	Logam Cobalt
CO ₂	Karbon Dioksida
COD	Keperluan Oksigen Kimia
Cr	Logam Kromium
Cu	Logam Kuprum
DANCED	Danish Cooperation for Environment and Development

EDTA	Ethylenediaminetetraacetic Acid
EPA	Environmental Protection Act
Fe	Logam Ferum
H ₂ O ₂	Hidrogen Peroksida
HCl	Asid hidroklorik
HDPE	High Density Polyethylene
Hg	Logam raksa
HMDE	Elektrod Titisan Raksa Tergantung.
HNO ₃	Asid Nitrik
JAS	Jabatan Alam Sekitar
Mn	Logam Mangan
NaOAc	Natrium Asetat
NH ₂ OH.HCl	Hidroksilammonium klorida
NH ₄ OAc	Ammonium Asetat
Ni	Logam Nikel
Pb	Logam Plumbum
SPT	Sistem Perparitan Tertutup
TMFE	Elektrod Titisan Raksa Nipis
TOC	Jumlah Kandungan Organik
TSS	Total Suspended Solid
Zn	Logam Zink
ZPP	Zon Perindustrian Prai

PENSPEKIESAN LOGAM BERAT DALAM AIR SISA CAMPURAN INDUSTRI DI SISTEM PERPARITAN TERTUTUP, ZON PERINDUSTRIAN PRAI 1 DAN 2, PULAU PINANG

ABSTRAK

Satu kajian dijalankan untuk mengkaji kepekatan spesies-spesies logam kadmium, kuprum, plumbum dan zink dalam bahagian akueus dan sedimen di kawasan Sistem Perparitan Tertutup (SPT) Zon Perindustrian Prai fasa 1 dan 2. Objektif kajian adalah untuk mengetahui tahap ketoksikan logam berat berdasarkan kepekatan spesies di mana kepekatan total yang diperolehi tidak memberi maklumat mengenai bentuk kimia sesuatu logam. Penspesiesan logam berat di bahagian akueus ditentukan dengan menggunakan Voltammetri Perlucutan Anod (ASV) serta labilitinya terhadap resin chelex berbentuk ammonium dalam prosedur kolum berturutan dan berkelompok manakala penentuan penspesiesan logam berat di bahagian sedimen dilakukan mengikut prosedur pengekstrakan 5 peringkat berturutan. Keputusan fasa akueus mendapati spesies labil ASV Cu mempunyai peratus taburan tertinggi di SPT S1(91.9%), S2(92.7%), S4(88.9%), S5(88.3%) dan S6(84.4%) manakala spesies labil ASV Cd mempunyai taburan tinggi di SPT S3(59.4%). Taburan spesies labil sederhana Cd tinggi di SPT S2(27.1%), S5(45.3%) dan S6(49.2%) manakala spesies labil sederhana Pb tinggi di SPT S1(63.5%) dan S3(24.7%) diikuti spesies labil sederhana Zn di SPT S4(44%). Spesies labil lemah Cd bertaburan tinggi di SPT S1(33.9%), S3(22%), S4(29%), S5(33.2%) dan S6(34.8%) manakala di SPT S2 spesies labil lemah Zn bertaburan tinggi (43.1%). Spesies

lengai logam Zn mempunyai taburan tinggi di SPT S1(22.3%), S3(36.5%), S4(21%), dan S6(21.8%) manakala di SPT S2 dan SPT S5 mempunyai taburan spesies lengai Cd(35.7%) dan spesies lengai Pb(30.6%). Kepekatan spesies labil-chelex menunjukkan keseluruhan SPT dan rumah pam A mempunyai ketoksikan logam Cu kecuali SPT S3 yang tercemar dengan ketoksikan logam Cd. Keputusan dari rumah pam A, menunjukkan spesies labil aktif Cu tertinggi dengan peratusan 96.4%, manakala logam Cd adalah spesies labil sederhana dan spesies labil lemah dengan peratusan 43.8% untuk keduanya. Pb adalah spesies lengai tertinggi di rumah pam A dengan peratusan 25.3%. Keputusan di bahagian sedimen menunjukkan logam Zn mempunyai kepekatan tertinggi di peringkat pecahan boleh saling ditukar di SPT S6(187mg/kg). Logam Zn juga mempunyai pecahan terikat kepada karbonat dan pecahan terikat kepada oksida Fe-Mn tertinggi di SPT 3 dengan bacaan 359mg/kg dan 253mg/kg. Peringkat pengekstrakan sedimen bagi pecahan terikat kepada jirim organik dan pecahan residu, didapati logam Pb tertinggi dari lain-lain logam di SPT S3 (164mg/kg) dan SPT S1 (160mg/kg). Keputusan sedimen rumah pam A menunjukkan kesemua logam yang dikaji hadir dalam pecahan ketoksikan tinggi. Logam Pb yang hadir terikat kepada oksida Fe-Mn iaitu 256 mg/kg, logam Zn terikat kepada pecahan boleh disalingtukar iaitu 499 mg/kg manakala logam Cd terikat kepada jirim organik iaitu 97 mg/kg. Oleh itu, didapati bahawa kawasan SPT adalah tercemar kepada ketoksikan logam-logam berat yang dikaji dalam kedua-dua jenis medium.

SPECIATION OF HEAVY METAL IN MIXED INDUSTRIAL WASTEWATER IN THE CLOSED DRAINAGE SYSTEM PRAI INDUSTRIAL ZONE 1 AND 2, PENANG

ABSTRACT

A study was conducted to investigate the concentrations of cadmium, copper, lead and zinc in samples collected in the aqueous phase and the sediment in the Closed Drainage System (CDS) located in Prai Industrial Zones 1 and 2. The objective of the research was to determine the level of toxicity based on concentrations of the labile and semi labile components of the metal and relate to types of metal species predominant in the samples. This is because the total concentrations of metals could not be used to determine the level of toxicity of a metal in the environment, unlike in species form. The speciation of the heavy metals in the aqueous phase was determined using Anodic Stripping Voltammetry (ASV) and the labile was ascertained using the chelex- ammonium resin in the successive column and batch procedure. The determination of the heavy metal species in the sediment was done according to 5 levels of extraction. The results of the aqueous phase show that the labile species ASV Cu has the highest distribution in the CDS at S1 which was 91.9%, S2, 92.7%, S4, 88.9%, S5, 88.3% and S6, 84.4%, while the ASV Cd labile species had the second highest distribution in the CDS, S3, with a value of 59.4%. The distribution of moderate labile Cd was high at S2, 27.1%, S5, 45.3% and S6, 49.2%, while the moderate labile Pb was high at S1, 63.5% and S3, 24.7%

followed by moderate labile Zn, present at 44% at S4. The weak labile species of Cd had high distribution at S1, 33.9%, S3, 22%, S4, 29%, S5, 33.2% and S6, 34.8% while the weak labile Zn has high distribution of 43.1%. The inert species of Zn has a high distribution at S1, 22.3%, S3, 36.5%, S4, 21%, and S6, 21.8% while at S2 and S5 the inert species of Cd was 35.7% and that of Pb 30.6%. The concentration of labile-chelex species shows the overall condition of the CDS and the Pump House A had high level of Cu, except at S3, which was contaminated with Cd. The results for Pump House A shows that the active labile species of Cu exist at 96.4%, while the moderate labile species and weak labile species of Cu were both at 43.8%. Pb was the highest inert species at Pump House A with a concentration of 25%. The content of the Zn in the sediment was highest in the form of exchangeable fractions at S6 with a value of 187mg/kg. Zn has fractions bound to carbonate and Fe-Mn oxides with the highest at S3 at 359mg/kg and 253mg/kg respectively. Fractions bound to organic mass and the residual fractions extracted from the sediment showed that Pb was the highest at S3 (164mg/kg) and S1 (160mg/kg). The sediment sampled at Pump House A showed that all the metals exist in very high fractions. Pb bound to Fe-Mn oxide was present in 256 mg/kg, and as high as 499 mg/kg Zn was bound in an exchangeable form while Cd bound to organic mass was 97 mg/kg. It can thus be concluded that the CDS is contaminated with toxic levels of heavy metal in both the aqueous and sediment form.

BAB 1 PENGENALAN

1.1 Kawasan Perindustrian Pulau Pinang.

Kebanyakan kawasan perindustrian Pulau Pinang terletak berhampiran dengan sungai, sepanjang pantai dan kawasan pantai yang ditambah (Norli,2003). Menurut Jabatan Alam Sekitar (JAS) Pulau Pinang (2000), kebanyakan kilang di kawasan perindustrian Penang Development Centre (PDC) dibina mengikut keperluan yang telah ditetapkan seperti Penilaian Impak Alam Sekitar (EIA).

Dua puluh dua peratus daripada kilang yang terletak di Zon Perindustrian Prai dirangkumi oleh sektor perindustrian elektronik dan elektrik, 20.4% sektor perindustrian pembuatan besi, 11.1% sektor perindustrian plastik dan produk plastik, 8.3% sektor perindustrian kertas dan produk kertas dan 7.1% sektor perindustrian pembuatan bahan kimia dan baja (DANCED, 1998 ; Norli, 2003).

Prai dipisahkan oleh Selat Pulau Pinang daripada bahagian kepulauan Pulau Pinang. Prai begitu pesat membangun sehingga terdapat pelbagai kawasan perindustrian. Kawasan perindustriannya yang bermula dari tahun 1974 meliputi 31.14 hektar dan terletak di bahagian persisiran pantai yang terdiri daripada 200 premis industri (PDC, 2003). Zon Perindustrian Prai (ZPP) Fasa 1 dan 2 meliputi sebahagian 202.69 hektar yang terdiri daripada 79 premis industri daripada pelbagai jenis industri.

Jadual 1.0 menunjukkan bilangan premis daripada pelbagai industri yang terletak di ZPP Fasa 1 dan 2 sehingga 30 Jun 2002. Sebanyak 79 premis industri beroperasi di ZPP Fasa 1 dan 2. Majoriti industri yang beroperasi di ZPP Fasa 1 dan 2 ialah industri pembuatan logam.

Kedudukan ZPP Fasa 1 dan 2 yang berdekatan dengan Selat Pulau Pinang menyebabkan kawasan ini menjadi penyumbang utama kepada pencemaran Selat Pulau Pinang. Hal ini disebabkan segala effluen-effluen terawat daripada industri disalurkan keluar ke sistem perparitan tertutup (SPT) dan kemudiannya dipamkan keluar daripada Rumah Pam A ke laut.

SPT memainkan peranan penting di kebanyakan kawasan perindustrian terutamanya ZPP Fasa 1 dan 2 di mana terletaknya kebanyakan industri-industri berat seperti industri pemprosesan bahan kimia, petro-kimia, baja dan logam berat.

Pengepaman keluar air sisa tercemar di dalam SPT ke laut menyebabkan pengumpulan bahan-bahan pepejal dan sedimen yang mengandungi bahan pencemar terutamanya di perairan Pulau Pinang.

Jadual 1.0 Bilangan premis yang beroperasi di ZPP Fasa 1 dan 2 di kawasan PDC sehingga 30 Jun 2002.

Jenis Industri	Bilangan
Elektronik	1
Telekomunikasi	1
Tekstil	3
Pembuatan berasas besi dan besi waja	4
Pembuatan logam	13
Permesinan	3
Mineral bukan metalik	2
Pemprosesan makanan dan pengetinan	4
Produk agrikultur(pertanian)	4
Makanan haiwan	3
Bahan kimia dan baja	12
Produk berasaskan getah	5
Produk plastic	8
Pengangkutan	8
Lain-lain	2
Jumlah	79

Sumber : PDC (2003)

Fenomena ini menjejaskan aktiviti penternakan kerang di sepanjang kawasan persisiran dan hutan paya bakau yang terletak 200 meter daripada stesen Rumah Pam A. Menurut kajian yang telah dilakukan oleh Seng *et al.*(1987), didapati bahawa kawasan laut Pulau Pinang terutamanya kawasan persisiran yang menempatkan ZPP Fasa 1 dan 2 adalah tercemar dengan logam berat yang tinggi dan ia disebabkan oleh peningkatan dan pertambahan industri di kawasan tersebut. Jadual 1.1 dan 1.2 menunjukkan kepekatan logam berat ($\mu\text{g/L}$) di dalam air laut dan sedimen kawasan perindustrian Prai dan perbandingan dengan kawasan perairan negara - negara lain.

Hasil daripada kajian-kajian lepas yang dilakukan Norli (2003) dan Seng *et al.* (1987) kepekatan logam-logam berat Pb, Zn, Cd dan Cu adalah tinggi melebihi had piawaian B, maka skop kajian ini adalah tertumpu kepada keempat-empat elemen untuk kajian penspesiesan logam tersebut bagi mendapatkan tahap ketoksikan elemen-elemen tersebut di kawasan SPT di ZPP Fasa 1 dan 2.

Jadual 1.1 Kepekatan logam berat ($\mu\text{g/L}$) dalam sampel air laut di kawasan perindustrian Prai dibandingkan dengan kawasan air laut tidak tercemar, Muara Sungai Severn, UK, Laut Mediterranean dan persisiran pantai Hong Kong.

	Kepekatan Logam ($\mu\text{g/L}$)				
	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd
Kepekatan air laut tidak tercemar	0.03	3.0	10.0	0.7–7.0	0.11
Laut kawasan perindustrian Prai	2.0–2.8	0.6 – 0.8	4.0– 10.6	1.6–1.8	0.6 – 0.8
Muara Sungai Severn, UK	1.5–1.4	2.2 – 4.2	11.0-22.0	1.9–3.6	0.31-1.48
Kawasan lautan mediterranean	6.4	3.7	38.3	3.3	0.94
Persisiran Pantai Hong Kong	660	69	92	-	45

Sumber: Seng *et al.* (1987)

Jadual 1.2 Kepekatan logam berat (mg/kg berat kering) sedimen yang diambil daripada kawasan persisiran pantai di dalam kawasan perindustrian Prai dibandingkan dengan kawasan lautan yang lain.

	Pb	Cu	Zn	Ni	Cd
	(mg/kg berat kering)				
Muara Sg Juru (kawasan perindustrian Prai)	21 –33	9-14	74-110	25-47	ND -7
Muara Sg Chao Phrya, Thailand	140± 28	26± 10	71± 6.9	-	1.20± 0.5
Kawasan laut mediterranean, Israel	4–20	0.3 –2.9	2-18	2–9	0.3–2.2
Muara Sg Severn, UK	119	38	280	36	-
Pelabuhan Tolo, Hong Kong	20-187	7 –231	38-94	-	6–7

Sumber: Seng *et al.* (1987)

1.2 Sumber Pencemaran Logam Berat di Kawasan Zon Perindustrian Prai, Pulau Pinang.

Air sisa industri memberi impak yang besar dalam masalah pencemaran alam sekitar. Pada masa kini, di Pulau Pinang sahaja terdapat 1569 premis industri yang merupakan sumber utama air buangan industri (Norulaini *et al.*, 2001). Jadual 1.3 menunjukkan kes-kes ketidakpatuhan terhadap peraturan-peraturan alam sekitar yang telah dihadapkan ke mahkamah negeri Pulau Pinang.

Kedudukan kawasan perindustrian adalah terletak di persisiran pantai terutama Zon Perindustrian Prai (ZPP) 1 dan 2, Pulau Pinang yang juga merupakan lokasi kajian ini. Lokasi yang dianggap strategik ini sebenarnya memberikan impak negatif kepada industri pelancongan, perikanan, manusia dan hidupan akuatik terutamanya kawasan penternakan akuakultur walaupun pelepasan air buangan industri memenuhi had piawai B Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Air Sisa Kumbahan dan Industri) 1979

Persoalannya di sini, mengapakah Selat Pulau Pinang masih tercemar jika setiap industri di kawasan ZPP 1 dan 2 mematuhi had pendiscasan air sisa industri mereka.

Sistem Perparitan Tertutup (SPT) memainkan peranan penting di dalam kebanyakan kawasan perindustrian terutamanya ZPP. Tujuan utama pembinaan SPT adalah bagi mengelakkan banjir dalam kawasan ZPP tetapi fungsinya telah ditambah iaitu menjadi badan air yang menerima air buangan industri terolah untuk dilepas keluar ke laut melalui Rumah Pam A.

Jadual 1.3 Kes-kes ketidakpatuhan terhadap peraturan-peraturan alam sekitar yang dihadapkan ke mahkamah negeri Pulau Pinang.

Punca Pencemar	Ketidakpatuhan Akta Alam Sekeliling	Bilangan kes.
Sisa kelapa sawit	Seksyen 22(1)	0
	Seksyen 16(10)	7
Elektronik	Seksyen 25	4
Tekstil	Seksyen 25(1)	3
Makanan	Seksyen 25(1)	1
	Peraturan 16(1) di bawah Peraturan Kualiti Alam Sekeliling (Air Sisa Industri dan Kumbahan) 1979	1
Bahan kimia	Seksyen 25(1)	1
Bahan asas getah	Peraturan 16(1)	1
Pulpa dan kertas	Seksyen 25(1)	3
Pembuatan logam	Seksyen 25(1)	2

Sumber : Laporan Tahunan JAS Pulau Pinang (1999)

Daripada pemerhatian Norulaini *et al.* (2001), didapati kualiti air buangan industri bagi keenam-enam SPT dan Rumah Pam Adalah melebihi had piawaian terutamanya bagi parameter-parameter keperluan oksigen biokimia (BOD_5), keperluan oksigen kimia (COD), bahan terampai dan logam berat (Cd, Zn, Pb dan Cu) serta minyak dan gris. Jadual 1.4 menunjukkan nilai purata ciri-ciri air sisa industri di dalam kolam tahanan Rumah Pam A.

Jadual 1.4 Nilai purata ciri-ciri air sisa industri di dalam kolam tahanan Rumah Pam A.

Parameter-parameter	Purata kepekatan	Had piawaian B (Akta Alam Sekeliling)
pH	6 – 5	5.5 – 9.0
Suhu (⁰ C)	31	40
BOD ₅ pada suhu 20 ⁰ C	243.6	50
COD	383	100
Bahan terampai	161.7	100
Raksa	ND	0.05
Kromium, ⁶⁺	< 0.05	0.05
Arsenik	ND	0.10
Sianida	ND	0.5
Plumbum	1.42	1.0
Kromium ³⁺	< 1.0	1.0
Kuprum	2.14	1.0
Mangan	ND	1.0
Nikel	ND	1.0
Timah	0.6	1.0
Zink	2.4	2.0
Boron	ND	4.0
Ferum	0.79	5.0
Fenol	ND	1.0
Klorin bebas	ND	2.0
Sulfit	3.3	0.5
Minyak dan gris	89.0	10.0
Kadmium	0.14	0.02

Sumber : Norli (2003)

Menerusi inventori klasifikasi perindustrian oleh Jabatan Alam Sekitar (JAS) didapati sebanyak 56 buah industri terlibat dalam aktiviti pelepasan effluen dan 20 daripadanya di daerah Barat Daya dan 36 buah industri daripada daerah Timur Laut. Ini menunjukkan pencemaran air di Selat Pulau Pinang berlaku disebabkan pelepasan bahan-bahan pencemar yang banyak oleh aktiviti-aktiviti perindustrian. Menurut laporan DANCED (1998) pula, industri-industri yang

disenaraikan di bawah adalah merupakan sumber utama pencemaran air di kawasan Prai :-

- Penyaduran – menghasilkan bahan-bahan organik seperti logam berat, effluen yang mempunyai nilai pH tinggi serta gris
- Pulpa dan kertas – effluen daripada industri ini didapati mempunyai nilai BOD yang tinggi, bahan terampai dan enapcemar toksik
- Tekstil – Bahan pencelup dan pewarna merupakan bahan pencemar utama
- Makanan dan minuman – minyak berat dan enapcemar
- Bengkel kenderaan.

Namun begitu, kesemua industri ini juga menyumbang kepada pencemaran logam berat di dalam effluen industri. Jadual 1.5 menunjukkan logam berat yang hadir di dalam kebanyakan aktiviti perindustrian (Forstner & Witmann, 1983)

JAS melaporkan bahawa kepekatan logam berat di dalam sampel air laut di utara Semenanjung Malaysia adalah tinggi berbanding dengan kawasan-kawasan lain di Malaysia. Ini disebabkan oleh kepesatan kerja-kerja penebusan tanah dan perindustrian.

Jadual 1.5 Kehadiran logam berat di dalam kebanyakan perindustrian

Industri	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Pb	Ni	Zn
Pigmen cat dan dakwat	X	X	X		X	X		
Penyaduran	X	X	X			X	X	X
Tekstil		X						
Pulpa dan kertas		X	X		X	X	X	X
Bahan kimia organik, petro-kimia	X	X		X	X	X		X
Alkali, Klorin dan bahan kimia tak organik	X	X		X	X	X		X
Pembuatan getah		X				X		X

Sumber : Forstner & Witmann (1983)

Holmgren (1994) juga mendapati kandungan logam berat Pb, Cu, dan Cd di Wilayah Bengal juga melebihi had piawaian yang dibenarkan. Selain itu, terdapat juga kajian-kajian yang dijalankan yang keputusannya adalah sejajar iaitu mengenai penumpukkan logam berat di kawasan akuakultur daripada Sungai Juru (Yahya & Zubir, 1994), kajian mengenai pengurusan dan pemuliharaan di Sungai Juru (Mohd Omar, 1993 ; Seng *et al.*,1983)

1.3 Penspesiesan Logam Berat

Sejajar dengan masalah alam sekitar yang semakin meruncing terutamanya yang berkait rapat dengan kesihatan manusia, kajian ini dijalankan bagi mengenalpasti ketoksikan logam berat. Kini kesedaran mengenai kepentingan penspesiesan logam berat dalam suatu kajian kualiti air semakin meningkat disebabkan ia memberi maklumat mengenai ketoksikan logam berat, mobiliti logam berat, pengangkutan logam berat dan biotersediaan. Secara amnya, penspesiesan terbahagi kepada dua operasi yang berlainan bergantung

kepada mediumnya. Bagi penspesiesan fasa akueus terdapat 4 jenis spesies diklasifikasikan secara operasi iaitu spesies labil aktif, spesies labil sederhana, spesies labil lemah dan spesies lengai (Figura & McDuffie, 1979). Penspesiesan fasa sedimen pula terbahagi kepada 5 spesies yang diklasifikasi secara operasi iaitu pecahan saling ditukar, pecahan terikat kepada karbonat, pecahan terikat kepada oksida Fe-Mn, pecahan terikat kepada jirim organik dan pecahan residu (Tessier *et al*, 1979).

Di dalam analisis logam berat, kepekatan total logam selalunya dikenalpasti (Kapoor & Virarghavan, 1998 ; Castro Dantos *et al*, 2003). Namun begitu, kepekatan total logam tidak memberikan sebarang maklumat mengenai keadaan sebenar logam dari segi interaksi dengan sedimen, biotersediaan, dan ketoksikan logam tersebut (Okonkwa & Mothiba, 2005). Dalam memahami ciri-ciri persekitaran logam, pengetahuan mengenai sifat fizik-kimia logam, terutamanya jumlah ion-ion logam bebas dan kompleks-kompleks labil aktif diperlukan (Davidson & Ure, 1995). Oleh itu, kajian ini adalah penting dalam mengenalpasti risiko pendedahan ketoksikan logam di kawasan Zon Perindustrian Prai memandangkan air sisa campuran industri akan dikeluarkan ke perairan Pulau Pinang.

1.4 Kepentingan analisis penspesiesan logam berat

Tahap pelepasan maksimum yang dibenarkan untuk elemen-elemen logam berat ke dalam alam sekitar adalah berdasarkan kepada total kepekatan logam berbanding bentuk kimianya. Namun, ianya tidak memberikan maklumat mengenai interaksi logam yang terikat dengan sedimen, kebolehan logam menyeberangi membran biologi atau ketoksikan sesuatu logam (Christie, 1995). Tahap kepekatan logam, mobiliti dan transformasi serta proses penumpukan di dalam ekosistem bergantung kepada faktor-faktor persekitaran seperti pH, keadaan tindakbalas redoks, suhu, kehadiran bahan organik dan aktiviti mikrobiologi. Kesemua faktor ini mempengaruhi kitaran bio-geokimia logam di dalam persekitaran (Agata & Jacek, 2000).

Penspesiesan penting bagi mendapatkan maklumat mengenai bentuk kimia walaupun total kepekatan logam adalah tinggi ia berkemungkinan mempunyai ketoksikan yang rendah berbanding sampel air yang mempunyai total kepekatan yang rendah tetapi ketoksikannya tinggi. Ini dibuktikan dalam kajian yang dijalankan oleh Florence & Batley (1976) yang mendapati ion-ion Cu mempunyai ketoksikan tinggi apabila berada di dalam organisma akuatik berbanding dengan spesies logam Cu yang terikat dengan jirim organik. Kompleks logam Cu yang terikat kepada jirim organik adalah lebih stabil dan ketoksikannya semakin berkurang.

Penspesiesan logam berat merupakan analisis yang mengaitkan masalah alam sekitar serta masalah kesihatan manusia atau kaji hayat. Sumber elemen-elemen logam adalah daripada semulajadi dan antropogenik. Namun, pembebasan spesies antropogenik dalam kuantiti yang banyak mempengaruhi keadaan spesies elemen semulajadi dan keseimbangan elemen dalam persekitaran. Ini menyebabkan mobiliti dan biotersedia elemen tersebut berubah dan mengganggu mekanisme biokimia organisma (Bernhad, 2003).

Banyak kepentingan penspesiesan di dalam kehidupan seharian yang diketahui. Umpamanya di dalam bidang loji rawatan air sisa, penspesiesan memainkan peranan penting. Pengetahuan mengenai bentuk kimia logam terlarut adalah penting untuk operasi loji rawatan yang efisien. Keefisienan operasi loji rawatan bergantung kepada kewujudan logam dalam spesies ion-ion, kompleks-kompleks, koloid atau partikulat. Logam yang terikat kuat dengan kompleks-kompleks organik sukar untuk disingkirkan daripada air sisa (Laxen, 1982).

1.5 Objektif kajian.

Penyelidikan ini dijalankan ke atas Sistem Perparitan Tertutup (SPT) di kawasan Zon Perindustrian Prai Fasa 1 dan 2, Pulau Pinang. Logam-logam yang dikaji di dalam kajian ini adalah plumbum (Pb), kadmium (Cd), zink (Zn), dan kuprum (Cu) bagi kedua-dua fasa iaitu fasa akueus dan separa pepejal (sedimen). Objektif-objektif kajian adalah seperti berikut :-

- Mengenalpasti peratus taburan spesies-spesies logam berat fasa akueus di dalam Sistem Perparitan Tertutup dan Rumah Pam A menggunakan skema penspesiesan yang mengklasifikasikan secara operasi iaitu spesies labil ASV, spesies labil sederhana, spesies labil lemah dan spesies lengai.
- Mengenalpasti kepekatan spesies-spesies logam berat fasa sedimen di dalam Sistem Perparitan Tertutup dan Rumah Pam A menggunakan kaedah pengekstrakkan berturutan 5 peringkat yang diklasifikasikan secara operasi iaitu pecahan saling ditukar, pecahan terikat kepada karbonat, pecahan terikat kepada oksida Fe-Mn, pecahan terikat kepada jirim organik dan pecahan residu

BAB 2

TINJAUAN LITERATUR

2.1 Implikasi Logam Berat Kepada Manusia.

Pencemaran logam berat di lembangan sungai dan persekitaran telah dikaji oleh ramai saintis daripada rantau Asia Tenggara. Pembebasan logam berat ke dalam persekitaran lautan semakin meningkat seiringan dengan peningkatan pembangunan kawasan perindustrian ditambah pula kurangnya aktiviti pemantauan serta penguatkuasaan (Takarina *et al*, 2004). Kesedaran yang ada kini mengenai bahaya aktiviti perindustrian terhadap alam sekitar telah mengalakkan kegiatan analisis penspesiesan bagi mengetahui maklumat bentuk kimia logam di dalam sedimen mahupun terlarut.

Secara amnya, ketoksikan sesuatu logam berat berkurangan mengikut skala berikut (Bryan *et al*, 1976 ; Florence & Batley, 1976) :-

Hg > Ag > Cu > Cd > Zn > Pb > Cr > Ni > Co
--

Walaupun ketoksikan logam berkurangan tetapi ianya membawa kesan buruk kepada kesihatan dan sekaligus membawa maut. Berikut dibincangkan kesan setiap logam yang dikaji terhadap kesihatan manusia dan alam sekitar.

2.1.1 Kadmium (Cd)

Logam Cd merupakan logam yang jarang dijumpai di dalam persekitaran dan penting bagi kesihatan manusia (Lim *et al.*, 2006). Kebelakangan ini, penggunaan Cd semakin bertambah menyebabkan kepekatan Cd di dalam persekitaran juga meningkat secara tidak langsung. Logam Cd banyak digunakan dalam industri pembuatan bateri Ni-Cd, perindustrian elektro–saduran serta pembuatan polivinil plastik.

Sumber utama logam Cd di dalam udara adalah daripada aktiviti pembakaran plastik, barangan getah serta tayar dan asap rokok. Sumber logam Cd di dalam air adalah daripada pelepasan keluar effluen industri aloi logam dan elektro-saduran. Logam Cd juga boleh memasuki ke dalam sumber makanan melalui makanan yang ditinkan dan penggunaan perkakasan tahan karat seperti sudu, garpu dan pisau. Logam Cd berkumpul di dalam badan manusia dan bertambah sejajar dengan penambahan usia manusia.

Logam Cd boleh menyebabkan gangguan kepada sistem jantung atau pulmonari, ketoksikan kepada sel-sel testis dan sel-sel sperma serta karsinogen kepada manusia. Selain itu, logam Cd juga boleh menyebabkan kerosakan kepada organ dalaman manusia terutamanya ginjal dan hati. Gudzovsky (1993) menyatakan penggantian penggunaan logam Zn kepada logam Cd yang terikat kepada kumpulan karbonil, amina dan sulfid dalam protein manusia menyebabkan gangguan metabolisme yang lazim di dalam enzim.

2.1.2 Plumbum (Pb)

Plumbum secara semulajadi terdapat di dalam air, udara, biosfera serta manusia. Plumbum merupakan logam yang tidak diperlukan di dalam tubuh manusia. Logam Pb memberikan banyak kesan negatif kepada manusia. Pendedahan yang tinggi terhadap logam Pb menyebabkan kesan kronik kepada kerosakan buah pinggang, gangguan kesuburan dan mengganggu kitaran haid wanita (Laurent, 1977). Pendedahan kepada logam Pb dalam jangka masa panjang menyebabkan kanak-kanak mengalami rencatan akal (Lim *et al.*, 2006). Dakwat berasaskan plumbum-kromat yang digunakan dalam pencetakan komik juga berbahaya kerana logam Pb akan terbebas apabila dicairkan dengan asid. Ianya menyerupai fungsi organ perut manusia.

Selain itu, pendedahan terhadap Pb melebihi had siling akan menyebabkan kerosakan otak, masalah perlakuan dan kehilangan deria pendengaran (Lim *et al.*, 2006).

2.1.3 Zink (Zn)

Zink merupakan elemen yang diperlukan oleh tubuh manusia. Logam Zn adalah penting di dalam diet seharian manusia dan haiwan bagi mengelakkan pertumbuhan terbantut, mengelakkan daripada keguguran rambut dan mengelakkan daripada kerosakan kelenjar kelamin. Selain itu, logam Zn juga

terlibat dalam sintesis RNA dan DNA serta bertindak mengurangi ketoksikan yang dibawa oleh logam Cd dan Pb. Pada kepekatan 2500 ppm, logam Zn adalah tidak toksik kepada mamalia dan tidak menunjukkan sebarang simptom. Malahan manusia memerlukan 10 – 15 mg/ hari Zn untuk kesihatan tubuh (Laurent, 1977). Ketoksikan Zn berlaku apabila Zn bertindak balas dengan spesies lain. Ion-ion Zn^{2+} sangat toksik di dalam air dengan kepekatan serendah 0.3 ppm dan ianya toksik kepada hidupan akuatik terutamanya ikan dan kerangan. Zn memberi kesan peningkatan kolestrol darah dan menjurus kepada peningkatan penyakit jantung.

2.1.4 Kuprum (Cu)

Logam Cu dan Zn merupakan elemen logam yang diperlukan di dalam badan manusia (Shrivastava & Banerjee, 1998). Cu yang diserap berlebihan akan disimpan di dalam organ hati dan otot-otot. Jangka hayat biologi logam Cu di dalam tubuh manusia adalah selama 4 minggu. Pengambilan logam Cu dalam kuantiti yang berlebihan menyebabkan gangguan kepada sistem usus. Penyedutan udara yang tercemar dengan logam Cu boleh menyebabkan sindrom penyakit demam “wasap logam”.

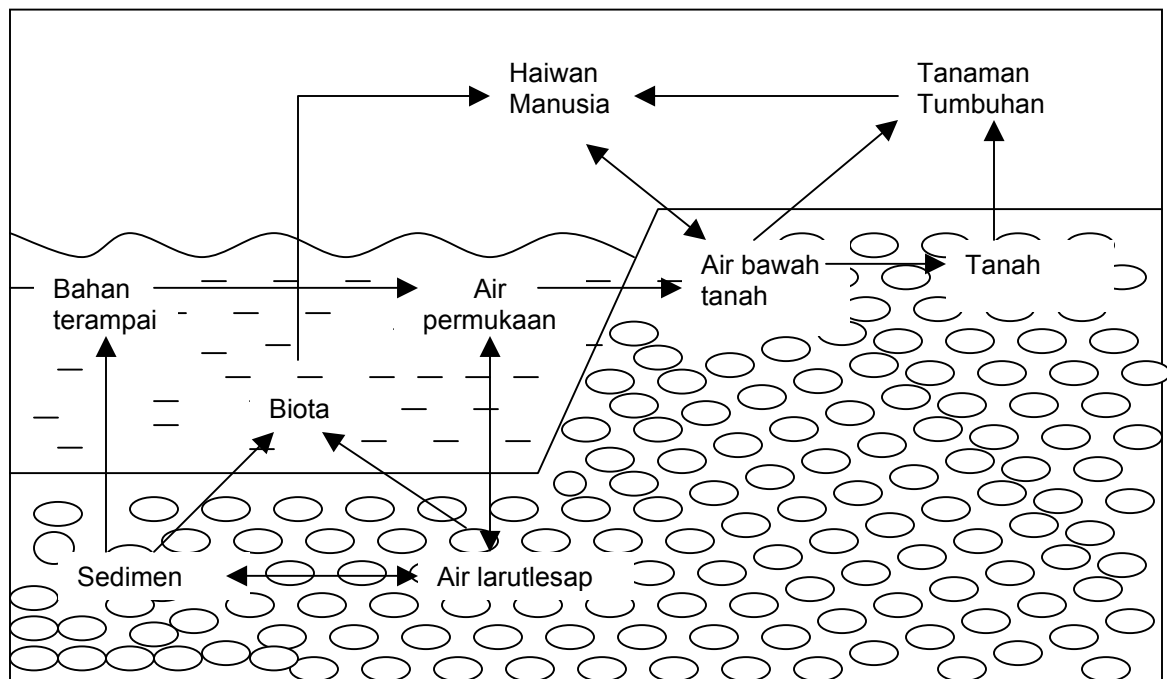
Menurut Piscator (1979), logam Cu merupakan suatu konduktor haba yang baik dan ia banyak digunakan di dalam peralatan elektrik, industri

pembuatan racun serangga dan baja, peleburan serta elektrolisis. Selain itu, logam Cu juga hadir di dalam air sisa industri pulpa dan kertas, tekstil, pigmen cat, dakwat, dan pembuatan bahan kimia (Lee *et al.*, 2005). Dalam makanan, Cu terdapat di dalam daging, organ dalaman haiwan, ikan dan sayur-sayuran (Boyer, 1984)

Logam Cu juga merupakan elemen yang diperlukan oleh enzim-enzim contohnya '*tyrosinase*' yang diperlukan dalam pembentukan pigmen-pigmen melanin, oksida sitokrom dan oksida amin. Logam Cu amat diperlukan oleh tubuh manusia namun kehadirannya dalam dos yang tinggi membawa kesan akut yang merengsa kepada organ respirasi, anemia, kerosakan hati, ginjal dan gangguan kepada sistem pencernaan manusia (Lee *et al.*, 2005).

2.2 Biotersedia.

Pendedahan logam berat yang melebihi had, berpotensi meningkatkan risiko kesihatan kepada manusia. Logam berat didapati banyak di dalam tanah-tanah, air dan udara. Penumpuan diberikan kepada logam berat yang berada di dalam tanah-tanah dan sedimen seperti logam berat yang larut di dalam air permukaan dan tanah, logam berat yang terampai serta logam berat yang larutlesap di dalam sedimen seperti di dalam Rajah 2.1 di bawah.

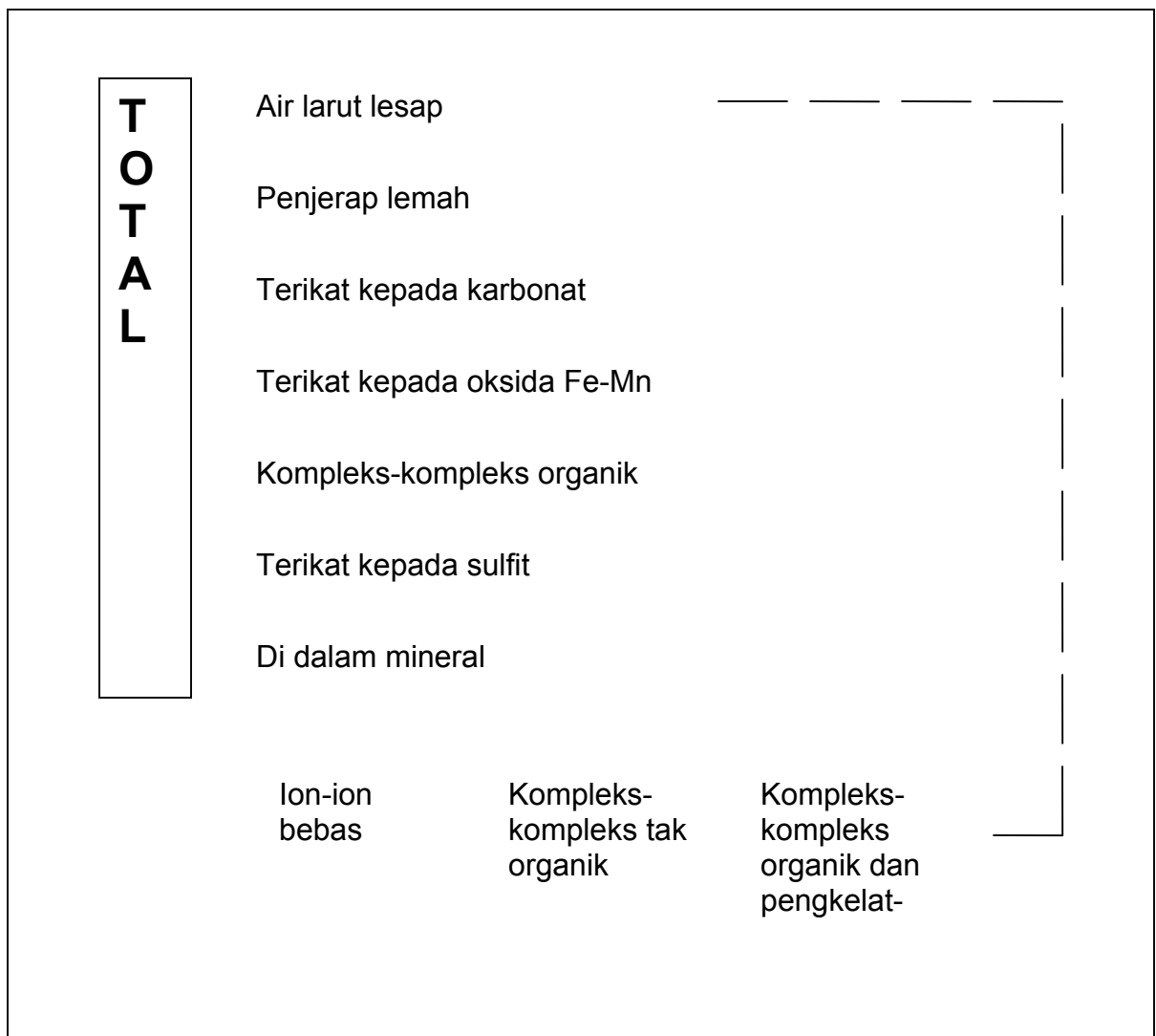


Rajah 2.1 Perkaitan antara manusia, logam-logam berat dan alam sekitar.

Sumber : Salomons & Forstner (1988)

Penumpukan secara biologi logam-logam berat oleh biota di bahagian permukaan air, tumbuhan dan haiwan di dalam persekitaran memberi kesan kepada manusia. Di dalam air permukaan dan air bawah tanah, sedimen serta udara, biotersedia adalah kompleks dan dipengaruhi oleh banyak faktor iaitu total kepekatan logam, spesies-spesies logam, bahan mineral, pH, potensi redoks, suhu, jumlah kandungan organik (TOC), isipadu air, kandungan partikulat terampai, halaju air, serta keadaan iklim. Faktor-faktor ini bergantung antara satu sama lain jika berlaku sebarang perubahan ia memberikan kesan kepada faktor yang lain (Salomons & Forstner, 1988)

Menurut Luoma (1989), kefahaman yang rendah terhadap faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi biotersedia logam dan seterusnya menghalang penafsiran biotersedia logam tersebut. Elemen-elemen sesuai diperoleh daripada pelbagai analisis yang berkait rapat dengan jenis tanah dan input antropogenik yang dijangka, pH tanah, bahan organik, dan kandungan sulfur serta karbonat dikenalpasti untuk mendapatkan penilaian tepat terhadap pengumpulan elemen, mobiliti dan biotersedia. Kajian mengenai kehadiran mineral dan logam berat penting kerana logam berat akan bergabung di bahagian tertentu. Rajah 2.2 menunjukkan bentuk kimia logam berat di dalam fasa pepejal.



Rajah 2.2 Bentuk Kimia Logam Berat Di Dalam Fasa Sedimen.

Sumber : Gunn *et al.* (1988)

2.2.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi biotersedia logam di dalam tanah.

Pengambilan elemen-elemen nutrien oleh tumbuhan adalah langkah pertama elemen logam memasuki rantai makanan. Pengambilan tumbuhan adalah bergantung kepada pergerakan elemen-elemen logam daripada tanah ke akar, lintasan elemen-elemen melalui membran sel-sel epiderma akar, pengangkutan elemen-elemen dari sel-sel epiderma ke xilem yang berfungsi mengangkut elemen-elemen daripada akar ke pucuk dan kemungkinan mobilisasi daripada daun sebagai tisu penyimpanan makanan. Selepas pengambilan elemen-elemen oleh tumbuhan, elemen-elemen logam pula diperolehi oleh herbivor dan manusia melalui rantaian makanan (Chaney, 1988). Pengambilan elemen-elemen ini bergantung kepada kepekatan elemen tersebut di dalam tanah yang dikawal oleh keadaan fizikal dan kimia tanah serta kandungan air, pH dan faktor lain.

Iklim dan jenis tanah banyak mempengaruhi mobiliti dan biotersedia elemen-elemen logam. Misalnya, iklim panas dan kering di barat Amerika Syarikat menjadikan bahan organik tanah kecil manakala garam mineral dan karbonatnya terdapat banyak di dalam tanah. Bahan-bahan ini mengandungi elemen-elemen logam berat yang tinggi. Keadaan yang berlainan pula berlaku di Timur Amerika Syarikat yang beriklim lembab menghasilkan jumlah bahan organik yang besar dan ianya memerlukan pengenalpastian terhadap logam yang terikat kepada bahan organik, serta kadar pertukaran ion-ion kerana selepas sesuatu tempoh, kebanyakan bahan organik mudah teroksida dan

logam akan dibebaskan. Bagi negara beriklim tropika, pengumpulan oksida-oksida besi, mangan dan aluminium di dalam tanah mungkin menghadkan mobiliti dan biotersedia logam dan metalloid (Chaney, 1988)

Spesies tumbuhan dan biotersedia elemen-elemen juga dapat mengawal kadar pengambilan logam berat. Perlimpahan biotersedia nutrien-nutrien yang tinggi termasuklah fosforus dan kalsium akan mengurangkan pengambilan bahan-bahan kimia atau elemen-elemen yang berbahaya termasuklah arsenik dan kadmium. (Luoma, 1989)

Dalam rujukan saintifik, kebanyakan kajian menerangkan sumber antropogenik seperti perindustrian dan perlombongan menyumbang kepada pengumpulan elemen-elemen biotersedia di dalam persekitaran. Contohnya, kehadiran logam berat yang banyak di dalam tanah yang berhampiran kawasan bandar tercemar (Pouyat & McDonnell, 1991) dan pengambilan logam berat oleh vertebrata di kawasan berdekatan dengan kawasan industri perleburan zink (Storm *et al*, 1994).

2.2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi pembahagian logam-logam berat di dalam air permukaan dan sedimen.

Selepas logam-logam berat dilepaskan ke persekitaran akuatik, logam-logam terbahagi kepada dua fasa iaitu fasa akueus dan fasa pepejal. Di dalam kedua-dua fasa, pembahagian berlaku di antara ligan-ligan yang dikenalpasti